
V
B J
C

A. W. Witkowski.

SUR LA DILATATION ET LA COMPRESSIBILITÉ DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE.

„O ROZSZERZALNOŚCI I ŚCIŚLIWOŚCI POWIETRZA“.

Extrait du Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie.
Mai 1891.



Extrait du Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie.
Mai 1891.



35. — A. W. Witkowski. **„O rozszerzalności i ściśliwości powietrza"** *Sur la dilatation et la compressibilité de l'air atmosphérique.*

Le mémoire présenté à l'Académie contient une description détaillée des expériences que l'auteur a entreprises dans le but de déterminer les propriétés de l'air, dans les limites de température + 100⁰ et − 145⁰ C. et pour des pressions s'élevant à 130 atmosphères.

On avait surtout en vue de mesurer le coëfficient moyen de dilatation de l'air à pression constante, entre zéro et la température variable θ: le coëfficient α défini par l'équation:

$$V_{p.\theta} = V_{p.o} \ (1 + \theta . \alpha_{p.\theta})$$

La compressibilité de l'air à la température ordinaire étant connue, on déduit aisément des valeurs de α, la compressibilité de ce gaz à toute autre température, comprise dans les limites des expériences.

La Fig. 1 sert à expliquer la méthode employée et la disposition générale de l'appareil.

S_1 et S_2 sont deux vases de verre résistant qui communiquent par l'intermédiaire de tubes capillaires très fins σ_1 et σ_2 avec deux pièces en métal, munies des robinets N_1, N_2 et R_1, R_2. Les robinets R_1, R_2 étant fermés, N_1, N_2 ouverts, l'intérieur de l'appareil est mis en communication avec le réservoir Z, qui contient de l'air purifié et fortement comprimé. Les vases S et les tubes σ sont ainsi chargés avec de l'air comprimé, exerçant une pression commune p. L'un des vases S_1 est chauffé ou refroidi à une température convenable θ, l'autre S_2 conserve la température ordinaire t (généralement = + 16⁰ C).

Quand l'équilibre des températures est établi, on ferme les robinets N_1 et N_2 et l'on ouvre les robinets R_1, R_2. Le

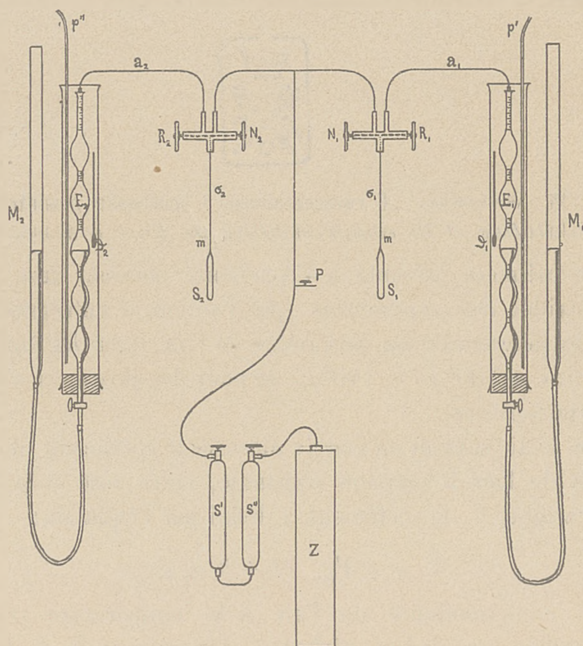


Fig. 1.

gaz comprimé se dilate et passe par les tubes a_1 et a_2 dans les appareils volumétriques E_1 M_1 et E_2 M_2, ou la quantité du gaz est mesurée à température ordinaire et sous une pression voisine d'une atmosphère. Ces appareils sont composés d'une sorte d'eudiomètres (E_1, E_2) gradués en millimètres cubes et communiquants par des tubes épais en caoutchouc avec les manomètres à mercure M_1, M_2.

Les volumes des vases S_1 et S_2 et ceux des „espaces nuisibles“ σ_1 et σ_2 sont déterminés d'avance avec soin; on comprend donc qu'il est possible de mesurer à l'aide des appareils volumétriques les quantités (A_1 et A_2) de l'air qui était comprimé dans les deux appareils, sous la pression p:, à θ degrés dans S_1, à t dans S_2, à la température ambiante τ dans σ_1 et σ_2.

Désignons par M_1 et M_2 les quantités de l'air comprimées dans les vases S_1 et S_2 seuls. On trouve sans peine la formule suivante:

$$\alpha_{p,\,0} = (1 + t.\,\alpha_{p,\,t}) \frac{M_2\, S_1}{M_1\, S_2\, \theta} - \frac{1}{\theta}$$

qui donne la valeur cherchée du coëfficient moyen de dilatation (o à θ) à pression constante p, en fonction de θ et de deux rapports: M_2: M_1 et S_1: S_2.

Ayant mesuré A_1 et A_2, on obtient M_1 et M_2 en appliquant de petites corrections m_1 et m_2 comme il suit:

$$M_1 = A_1 - m_1 \qquad\qquad M_2 = A_2 - m_2$$

m_1 et m_2 désignent les charges des espaces nuisibles σ_1 et σ_2. On a clairement $m_1 : m_2 = \sigma_1 : \sigma_2$. La température τ de σ_2 ne diffère que de quelques degrés de t, c'est pourquoi on a aussi (en posant 0·00367$=\gamma$).

$$m_2 = A_2 \;\frac{1 + \gamma\, t}{1 + \gamma\, \tau}\;\; \frac{\sigma_2}{S_2 + \sigma_2}$$

Les corrections m valaient $1/_{200}$ à $1/_{300}$ de M à la température ordinaire; $1/_{400}$ à $1/_{1000}$ seulement aux températures basses.

L'appareil volumétrique destiné en premier lieu aux recherches de la dilatation, sert en même temps de manomètre à gaz. On voit que la quantité A_2 de l'air comprimé à la température ordinaire t, dans le vase S_2 et dans σ_2, donne une mesure approximative de la pression. En se basant sur les recherches de *M.* Amagat (Ann. de chim. 1880, Comptes rendus 1884) on trouve la mesure exacte de p de la manière suivante. Considérons l'unité de volume de l'air à zéro et à pression atmosphérique. A $t = 16$ et sous la pression de p atmosphères, le gaz occupe un volume $\frac{\eta\,(1 + 16.\gamma)}{p}$; η étant un coëfficient variable avec p, dont les valeurs ont été déterminées par *M.* Amagat pour $t = 16^0$.

Soit A_2 la quantité d'air (mesurée en millimètres cubes à O^0 et à la pression atmosphérique) comprimée dans S_2 et σ_2

à $t = 16^0$ et à la pression de p atmosphères. On trouve la formule

$$p = \eta \frac{A_2 (1 + t\gamma)}{S_2 + \sigma_2}$$

qui a été employée pour calculer les pressions. Cette méthode a l'avantage d'être d'une sensibilité constante. Elle ne donne pas des résultats complètement identiques avec ceux des manomètres à gaz ordinaires, remplis d'une quantité constante d'air ou d'azote. Ces derniers donnent toujours des indications supérieures de quelques dixièmes pour cent.

Tels sont les traits essentiels de la méthode employée par l'auteur pour étudier la dilatation de l'air. On a cherché d'obtenir des séries de déterminations de α pour quelques températures constantes en variant la pression. Les mesures ont été faites aux températures (θ) suivantes: $+ 100^0$ (vapeur d'eau); 0^0 et $+ 16^0$; -35^0 (mélange de glace et de chlorure de calcium); -78.5^0 (acide carbonique solide et éther); -103.5^0 (étylène liquide sous pression atmosphérique; -130 à -145^0 (étylène liquide bouillant sous pression diminuée). Les températures sont rapportées au thermomètre à hydrogène à volume constant; elles on été mesurées au moment précis de l'expérience à l'aide d'un thermomètre électrique a fil de platine,[1]) comparé pendant chaque série des expériences avec le thermomètre à hydrogène.

Il n'est pas possible de maintenir a l'aide des mélanges réfrigérants qui ont été employés des températures absolument constantes. Les valeurs de α obtenues pour des températures voisines ont été reduites à une température commune par un procédé d'interpolation graphique.

Il n'est pas nécessaire de reproduire dans ce résumé toutes les quantités mesurées; on les trouve dans le mémoire. Il suffira de donner ici une table des valeurs définitives du coëfficient $\alpha_{p,0}$, pour les neuf isothermes.

Le degré d'approximation auquel l'auteur est arrivé résulte clairement de la représentation graphique des résultats (Pl. I).

[1]) voir la communication suivante.

Les points marquent les valeurs données par l'expérience (réduites à des températures égales pour chaque ligne isothermique).

Dilatation de l'air

Table des valeurs de $100000 \times \alpha_{p,0}$.

Pressions atm.	Températures:								
	$+100,_{0}$	$+16,_{0}$	$-35,_{0}$	-78.5	-103.5	$-130,_{0}$	$-135,_{0}$	$-140,_{0}$	$-145,_{0}$
10	375	376	—	—	—	—	—	—	—
15	379	382	—	—	—	—	—	420	427
20	383	387	—	401	410	427	—	440	450
25	388	392	—	411	422	443	—	463	479
30	392	398	—	420	434	462	477	492	519 [1]
35	397	403	—	429	448	483	506	538	
40	402	408	—	438	461	508	544	632	
45	406	414	—	448	474	536	594		
50	410	419	430	457	487	569	619		
55	414	424	436	467	500	598	623		
60	418	429	442	476	512	610	622		
65	421	434	448	485	525	612	621		
70	425	438	454	494	536	612			
75	428	442	461	503	547	610			
80	431	446	467	512	557	607			
85	434	449	473	520	566				
90	437	452	479	527	572				
95	439	455	485	532	577				
100	441	458	489	537	579				
105	443	460	493	542	580				
110	445	462	497	545	580				
115	447	463	499	548	579				
120	449	465	501	550	577				
125		466	503	551	574				
130		468		551	571				

On voit que le coëfficient de dilatation augmente pour chaque température jusqu'à un maximum, pour diminuer ensuite. Au voisinage des points de liquéfaction l'accroissement est extrêmement rapide.

[1]) Pour 29 atmosph.

Compressibilité de l'air

Table de valeurs de $F_{(p\ 0)}$

Pressions atm.	Températures:									
	$+100_{0}$	$+16,_{0}$	0	$-35,_{0}$	—78,5	—103.5	$-130,_{0}$	$-135,_{0}$	$-140,_{0}$	$-145,_{0}$
1	1.3670	1.0587	1.0000	0.8716	0.7119	0.6202	0.5229	0.5046	0.4862	0.4679
10	1.3678	1.0550	0.9951	—	—	—	—	—	—	—
15	1 3685	1.0529	9923	—	—	—	—	—	0.4095	0.3786
20	1.3691	1.0509	9897	—	0.6778	0.5697	0.4410	—	3808	3447
25	1.3698	1.0488	9869	—	6689	5559	4183	—	3476	3015
30	1.3704	1.0468	9842	—	6599	5417	3936	0.3502	3063	2444[1])
35	1.3713	1.0449	9816	—	6510	5270	3650	3115	2419	
40	1.3725	1.0433	9793	—	6423	5125	3329	2598	1128	
45	1.3738	1.0419	9772	—	6335	4980	2963	1942		
50	1.3754	1.0408	9754	0.8288	6252	4839	2544	1605		
55	1.3770	1.0399	9738	8253	6170	4701	2171	1553		
60	1.3784	1.0390	9723	8219	6089	4567	2013	1556		
65	1.3802	1.0384	9710	8187	6011	4439	1985	1576		
70	1.3821	1.0381	9701	8158	5937	4318	1985			
75	1.3842	1.0379	9694	8132	5863	4206	2013			
80	1.3866	1.0379	9688	8105	5796	4103	2043			
85	1.3887	1.0380	9684	8081	5734	4014				
90	1.3908	1.0382	9681	8058	5680	3948				
95	1.3929	1.0386	9680	8038	5634	3903				
100	1.3951	1.0390	9681	8023	5600	3881				
105	1.3977	1.0397	9685	8013	5568	3874				
110	1.4004	1.0406	9690	8006	5544	3877				
115	1.4034	1.0418	9699	8004	5530	3892				
120	1.4065	1.0432	9710	8006	5520	3914				
125	—	1.0448	9722	8012	5520	3944				
130	—	1.0467	9738	—	5528	3981				

Toutes les lignes isothermiques du coëfficient α forment un faisceau aboutissant au voisinage du point dont les coordonnées sont $p = 1$ atm. $\alpha = 0{\cdot}00367$. Cela ne doit avoir lieu qu' approximativement, puisque la pression de 1 atm. n'a aucune relation avec les propriétés intrinsèques du gaz étudié.

[1]) pour 29 atm.

On a commencé dans ce laboratoire des expériences pour résoudre la question intéressante du parcours de ces lignes pour les pressions très basses.

Le coëfficient de dilatation étant connu il est facile de dresser une table de la compressibilité. Considérons l'unité de volume d'air à 0^0 et sous la pression d'une atmosphère. A θ degrés et sous p atmosphères le gaz occupe le volume

$$v = \frac{F(p, \theta)}{p}$$

$F(p\,\theta)$ est un coëfficient variable, fonction de p et θ; les valeurs isothermiques de cette fonction, a θ degrés, expriment la loi de la compressibilité du gaz considéré à la même température. Les recherches de M. Amagat nous ont fourni les valeurs de $F(p, t)$ pour les températures voisines de $+16$. En les divisant par $1 + t.\,\alpha_{pt}$ on obtient les valeurs de F a 0^0, et ainsi de suite pour les autres températures. Voici la table des nombres calculés de cette manière. (*p. 186*).

Une réprésentation graphique de la fonction F $(p\,\theta)$ c'est-à-dire du produit pv est donnée sur la planche II. On y trouve les courbes de compressibilité pour dix températures. Le minimum du produit pv pour les différentes températures a lieu aux pressions suivantes:

$\theta = +100^0 C.$	$p < 10$ atm.
$\theta = +16$	$p = 79$
$\theta = 0$	$p = 95$
$\theta = -35$	$p = 115$
$\theta = -78{\cdot}5$	$p = 123$
$\theta = -103{\cdot}5$	$p = 106$
$\theta = -130$	$p = 66$
$\theta = -135$	$p = 57$

Il est intéressant de vérifier certaines conclusions que M. Wróblewski[1]) a déduites de l'étude de la compressibilité de de quelques gaz aux températures plus élevées. Construisons

[1]) Ber. der Akad. Wien, 1888. Bd. XCVII.

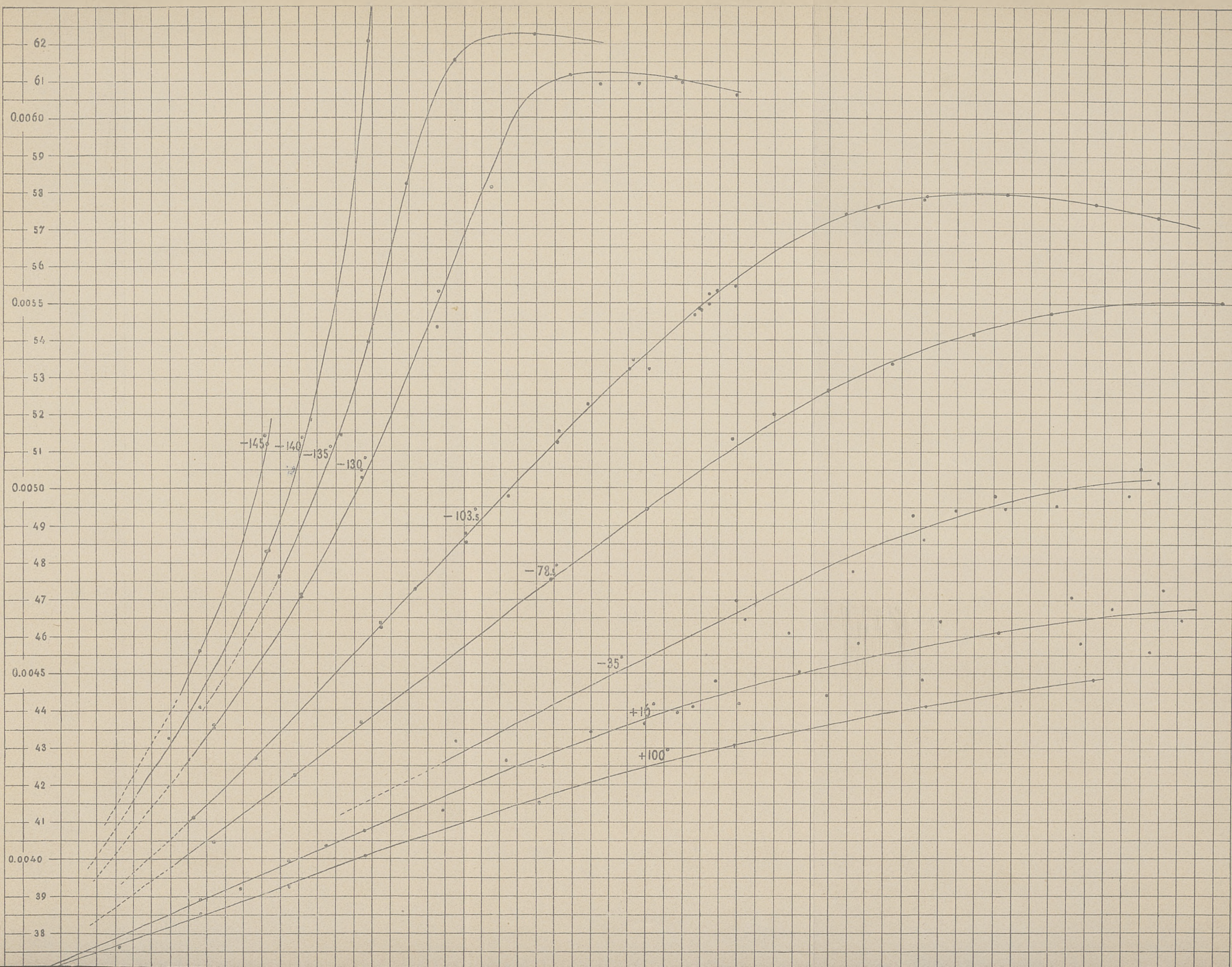
une courbe dont les ordonnées sont les valeurs de p pour lesquelles le minimum du produit pv a lieu, divisées par la pression critique (39 atm. environ) et dont les abscisses sont les températures correspondantes absolues θ, divisées par la température critique absolue ($132 = -141^0$ C). D'après M. Wróblewski cette courbe doit être la même pour tous les gaz. A l'aide des valeurs de θ et p données plus haut on trouve en effet une concordance, du moins très rapprochée.

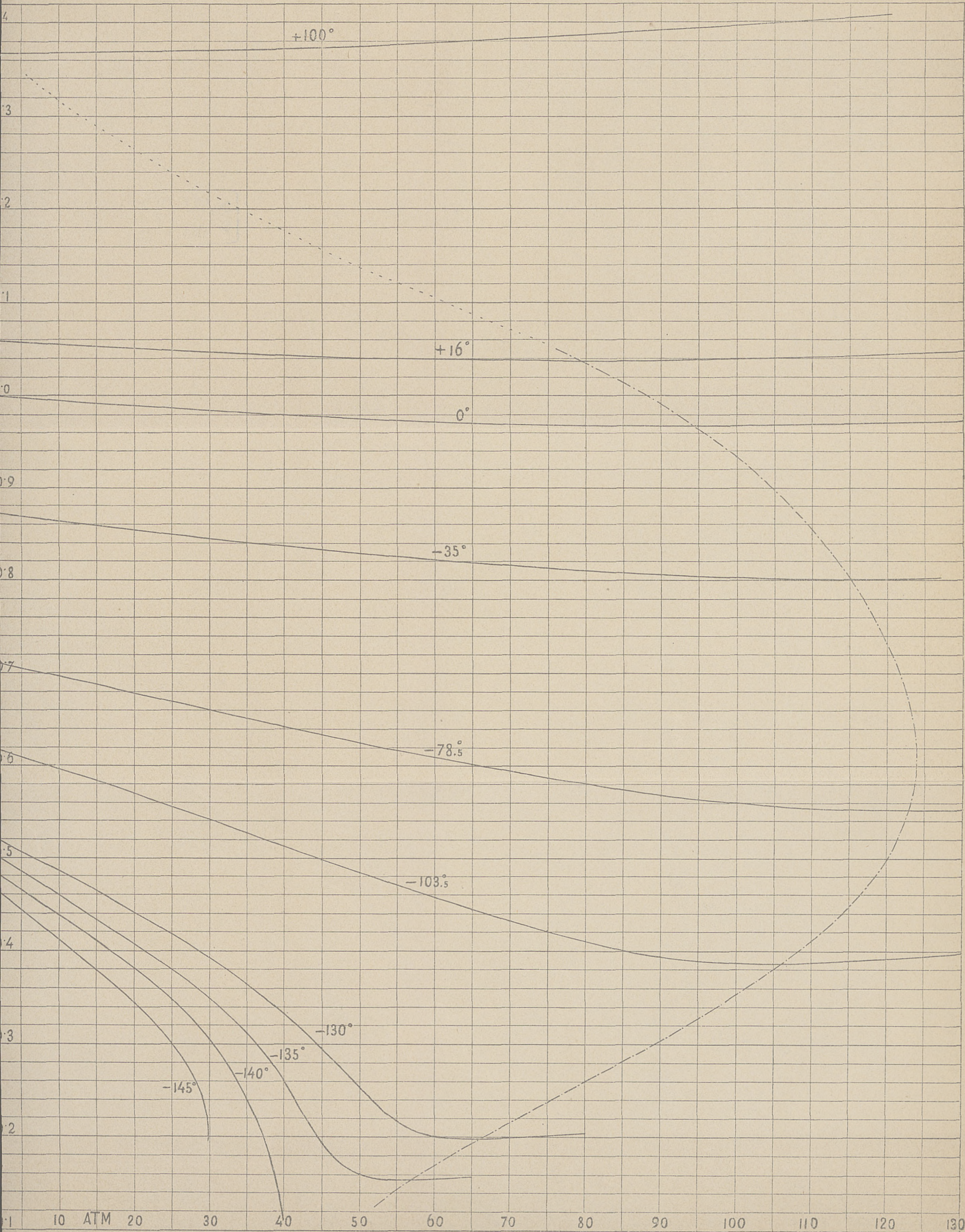
Laboratoire de physique de l'Université de Cracovie, Mai 1891.





Cracovie, 1891. — Imprimerie de l'Université Jagellonne.


62
61
0.0060
59
58
57
56
0.0055
54
53
52
51
0.0050
49
48
47
46
0.0045
44
43
42
41
0.0040
39
38
−145°
−140°
−135°
−130°
−103.5°
−78.5°
−35°
+10°
+100°



Courbes de compressibilité de l'air.

A. WITKOWSKI.


VERITAS
ABCD

